

氏 名 PHAM TRUNG KIEN

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 2660 号

学位授与の日付 2026 年 3 月 24 日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻  
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Low-Latency Collective Communication for High-  
Performance Computing Networks

論文審査委員 主 査 鯉淵 道紘  
情報学コース 教授  
合田 憲人  
情報学コース 教授  
福田 健介  
情報学コース 教授  
五島 正裕  
情報学コース 教授  
八巻 隼人  
電気通信大学 大学院情報理工学研究科  
准教授

# Summary of Doctoral Thesis

Name in Full : PHAM TRUNG KIEN

Title : Low-Latency Collective Communication for High-Performance Computing Networks

This dissertation presents multi-port message-combine collective communications to fully exploit the large number of links in Kautz networks. Our main idea is the design of "multi-port" operations, that utilize all outgoing links of a source node in collective communication. We evaluate the multi-port message-combine collective communication using version 3.28 of the SimGrid framework. In the simulation, the startup latency for each communication and link bandwidth are set to 1 us and 100 Gbps, respectively. Then, we measure the execution time for various messages sizes. SimGrid evaluation results illustrate that the proposed algorithm achieves substantial performance gains over an existing competitor, being up to 11x faster in alltoall benchmarks.

Although the proposed multi-port message-combine collective communication algorithm performs well on the Kautz network topology, existing large parallel computer systems have not employed uni-directional interconnection networks, including Kautz. This limitation arises from practical concerns, such as the absence of efficient switch-by-switch flow control. To address this issue more practically, this dissertation also presents multi-port message-combine collective communication in a bi-directional 2dfc network topology. In a 2dfc, the number of dimensions equals two. In each dimension, all nodes are fully connected. When the number of dimensions equals two, the topology corresponds to HyperX and Generalized Hyper Cube (GHC). Thus, the proposed multi-port message-combine operation on a 2dfc can be leveraged, further enhancing its applicability to state-of-the-art parallel computer systems. SimGrid evaluation results demonstrate that the proposed multi-port message-combine operations improve throughput by up to 1.38x compared with a competitor. Although the proposed multi-port message-combined collective communication can, in principle, be applied to other high-radix network topologies, the latency overhead of the message-combine operation is significant at each network interface. Therefore, the proposed multi-port message-combine collective communications is particularly well suited for diameter-two topologies such as Kautz and 2dfc network topologies.

Results of the Doctoral Thesis Defense

## 博士論文審査結果

Name in Full

氏 名 PHAM TRUNG KIEN

T i t l e

論文題目 Low-Latency Collective Communication for High-Performance Computing Networks

本学位論文は、「Low-Latency Collective Communication for High-Performance Computing Networks」と題し、英文で記述され、全5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、並列計算機システムにおける集合通信の研究分野の概況と本研究の目的を述べている。本章では並列計算機における集合通信の重要性について述べ、ネットワーク資源の利用効率の観点から、現状の集合通信技術の問題点を指摘している。そして、これらの課題に対する解決策として、衝突を回避するようにメッセージ転送を行う集合通信技術を提案することが本論文の目的であると述べられている。

第2章「Background Information and Related Work」では、並列計算機システムのネットワークトポロジ、集合通信アルゴリズム、およびそれらのコスト評価について解説している。さらに、各項目についてネットワーク資源の利用効率の観点から研究動向をまとめている。

第3章「Collective Communication for Kautz Network Topology」では、直径が小さいという特性を有する Kautz ネットワークトポロジを対象として、メッセージを統合することにより集合通信で発生するメッセージ間の衝突を避ける手法を提案している。出願者は、既存の代表的手法と比較して提案手法による集合通信の実行時間の短縮効果を示すとともに、典型的な並列ベンチマークに対しても実行時間が短縮されることをシミュレーションにより示している。

第4章「Collective Communication for Two-Dimensional Fully Connected Network Topology」では、2次元完全結合ネットワークトポロジを対象として、各次元において並列にメッセージ転送を行う点に特徴がある集合通信手法を提案した。3章で提案した手法は、単方向リンクによるネットワーク構成を前提としており、集合通信の実行時間の短縮という点では優位性がある一方、既存の並列計算機システムではフロー制御の困難性から一般的にサポートされていないという課題がある。これに対し、本章での手法はより現実的なネットワーク構成を前提としたアプローチを採用している。出願者は、本ネットワークトポロジにおいて集合通信の実行時間が短縮されることをシミュレーションにより示している。さらに、既存の代表的なネットワーク構成との間でコストおよびスケラビリティのトレードオフを議論し、2次元完全結合ネットワーク以外のトポロジに対しても提案手法が適用可能であることを示している。

第5章「Conclusions and Future Works」では、本研究の内容を総括し、得られた成果および今後の課題について述べている。

公開発表会では博士論文の章立てに従って発表が行われ、その後に行われた論文審査会及び口述試験では、審査員からの質疑に対して適切に回答がなされた。質疑応答後に審査委員会を開催し、審査委員で議論を行った。審査委員会では、出願者の博士研究が並列計算機システムの集合通信の実行時間の短縮に貢献することが評価された。

以上を要するに本学位論文は、並列計算機システムにおいて重要な役割を果たす集合通信の性能向

上を実現する手法を提案し、ネットワークシミュレーションによる定量的性能評価およびコストとスケーラビリティの観点からの解析を通じて、その有効性を示したものであり、研究分野の発展に貢献しているという点で学術的価値がある。また、本学位論文の成果は、国際会議論文（専攻が定めるトップ会議）論文1件、ショートペーパー査読付き国際会議論文1件として発表され、学術的な貢献も認められる。以上の理由により、審査委員会は、本学位論文が学位の授与に値すると判断した。